



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2021/22**

---

*BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m*  
**MAR AURORA**

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNO**

David Martín Argibay

**TUTOR**

Fernando Lago

**FECHA**

Septiembre 2022

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

*CURSO 2.021-2.022*

**PROYECTO NÚMERO 2022-GENO-14**

**TIPO DE BUQUE:** Buque oceanográfico con capacidad polar para operar en zonas árticas y antárticas. 55 m de eslora entre perpendiculares

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** DNVGL, SOLAS + MARPOL+ exigibles en este tipo de buques. POLAR CODE TIPO B ICE CLAS I-B SPS. CLEAN DESIGN. NAUT O EQUIVALENTE

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 300 m<sup>2</sup> de capacidad para laboratorios de investigación. 100 m<sup>2</sup> de superficie libre en cubierta

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** velocidad máxima de 14 nudos y velocidad de crucero de 12 nudos con una autonomía de 40 días

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** 2 grúas de carga a cada costado del buque.

**PROPULSIÓN:** propulsión eléctrica mediante 2 motores eléctricos, mas 4 generadores diésel de diferentes potencias, más el generador de emergencia. Navegación en zona ECA con LNG.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** capacidad para 20 científicos más 8-12 tripulantes

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** laboratorio en frío (-25 ° C), nivel mínimo de vibraciones y ruidos transmitidos a la mar, robot submarino a bordo además de embarcaciones menores tales como 2 Zodiacs a disposición del personal. Helipuerto.

ALUMNO: **D. David Martín Argibay**

---

## RESUMEN BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 M MAR AURORA

### **Castellano**

A lo largo del presente Trabajo Fin de Grado se realizará el anteproyecto de un buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Se trata de un buque que podrá navegar en aguas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidad de navegación con LNG en zona ECA y que poseerá 300 m<sup>2</sup> de laboratorios mas 100 m<sup>2</sup> de superficie libre en cubierta para el estudio llevado a cabo por los 20 científicos que podrán ir a bordo del mismo.

El proyecto consta de un estudio preliminar de oceanográficos semejantes para, posteriormente, desarrollar las formas del buque, estudiar su flotabilidad y estabilidad en distintas condiciones, la potencia necesaria a bordo, la disposición general, el cálculo estructural de la cuaderna maestra, así como el estudio del francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica y equipos y servicios necesarios a bordo para concluir con el estudio del presupuesto y viabilidad de construcción del buque.

### **Galego**

Ao longo deste Traballo Fin de Grao realizarase o anteproxecto dun buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Trátase dun buque que poderá navegar en augas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidade de navegación con LNG na zona ECA e que contará con 300 m<sup>2</sup> de laboratorios máis 100 m<sup>2</sup> de superficie libre na cuberta para o estudo realizado polos 20 científicos que poderán subir a bordo.

O proxecto consiste nun estudo preliminar de oceanográficos similares para posteriormente desenvolver as formas do buque, estudar a súa flotabilidade e estabilidade en diferentes condicións, a potencia necesaria a bordo, a disposición xeral, o cálculo estrutural da cuaderna maestra, así como o estudo do francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica e equipos e servizos necesarios a bordo para concluír co estudo do orzamento e viabilidade de construción do buque.

### **English**

Throughout this Final Degree Project, the preliminary design of a research vessel of 55 meters in length will be carried out. It is a ship that will be able to navigate in polar waters at 12 knots with diesel-electric propulsion, 40 days of autonomy, navigation capacity with LNG in ECA zone and that will have 300 m<sup>2</sup> of laboratories plus 100 m<sup>2</sup> of free surface on deck for the study carried out by the 20 scientists that will be able to go on board.

The project consists of a preliminary study of similar research vessels and then, develop the vessel's form, study its buoyancy and stability in different conditions, the power required on board, the general layout, the structural calculation of the master frame, as well as the study of the freeboard, engine room, electrical plant and equipment and services required on board to conclude with the study of the budget and viability of building the vessel.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

**CURSO 2021/22**

---

*BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m*  
**MAR AURORA**

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 3**

**DISEÑO DE FORMAS**

## ÍNDICE

Resumen Buque Oceanográfico 55 m Mar Aurora .....	3
1. Introducción.....	6
2. Generación de formas en MAXSURF.....	7
2.1. Selección buque base en MAXSURF .....	7
3. Formas de buque base de referencia.....	9
3.1. Formas de proa buque base .....	10
3.2. Formas del cuerpo cilíndrico del buque base .....	11
3.3. Formas de popa del buque base.....	12
4. Desarrollo de las formas.....	13
4.1. Perfil longitudinal.....	13
4.2. Líneas de agua .....	14
4.3. Cuadernas y perfil transversal.....	14
5. Contorno de proa .....	17
5.1. Bulbo de proa en buques .....	17
5.1.1. Efecto hidrodinámico del bulbo de proa .....	17
5.1.2. Tipos de bulbo según la forma de sus secciones .....	18
5.1.3. Tipos de bulbo según la integración en la carena.....	19
5.1.4. Márgenes de aplicación .....	20
5.1.5. Parámetros geométricos que caracterizan el bulbo.....	21
5.2. Proa y bulbo de proa diseñado.....	22
5.3. Zona de amarre y fondeo .....	24
5.4. Altura mínima en proa .....	26
5.5. Semiángulo de entrada .....	27
6. Cuerpo cilíndrico .....	30
6.1. Curva de áreas seccionales .....	30
6.2. Radio del pantoque y astilla muerta .....	32
6.3. Altura del doble fondo y situación de la CCMM .....	33
7. Contorno de popa.....	35
8. Comprobación de coeficientes .....	38
9. Plano de formas .....	39
ANEXO I: plano de formas .....	40

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno 3, cálculo de formas del buque, procederemos a hallar las formas del casco, así como los contornos de proa y popa y por último la obtención del plano de formas, la curva de áreas y la cartilla de trazado.

Las dimensiones del buque serán las obtenidas en el Cuaderno 1: “Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable”:

Alternativa	Lpp(m)	B(m)	D (m)	T (m)
13	55	11,52	7,34	4,57

*Ilustración 1: dimensiones buque proyecto*

Fn	CB	CM	CP	Cf	Desplazamiento
0,2657	0,6	0,97	0,62	0,78	1781,50

*Ilustración 2: coeficientes del buque proyecto*

L/B	L/D	T/D	B/D	B/T
4,78	7,50	0,62	1,57	2,52

*Ilustración 3: relaciones adimensionales del buque proyecto*

El objetivo de este cuaderno es conseguir las formas del buque y sus coeficientes, previamente estimados en el Cuaderno 1, y que a partir de ahora serán los definitivos.

Las formas las generamos a partir de un buque base predeterminado parecido al nuestro en Maxsurf (Offshore Supply Vessel) que modificaremos introduciendo las dimensiones anteriormente expuestas para hallarlas.

## 2. GENERACIÓN DE FORMAS EN MAXSURF

A continuación, vamos a detallar la generación de las formas del buque a través del programa MAXSURF Modeler.

### 2.1. Selección buque base en MAXSURF

Las dimensiones que utilizaremos serán las expuestas anteriormente en base a un buque de Maxsurf del tipo Offshore Supply Vessel. Introduciendo valores pedidos de eslora, L, manga, B, y puntal, D, obtenemos:

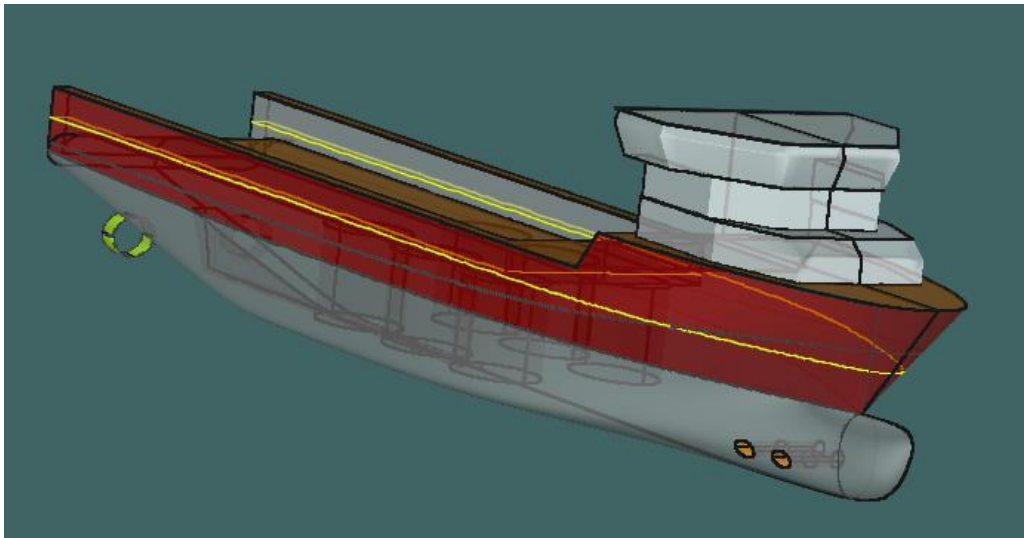


Ilustración 4: vista 3D buque base

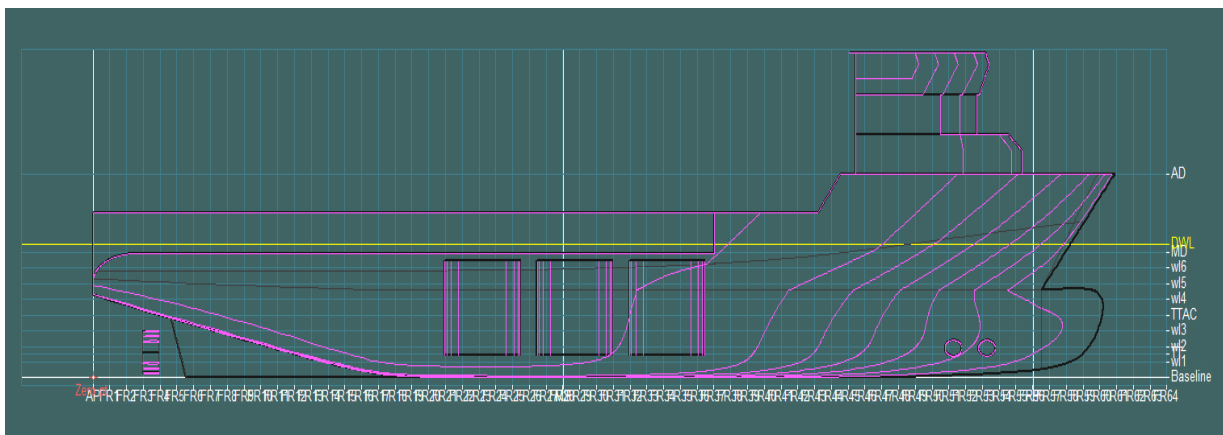


Ilustración 5: vista longitudinal con longitudinales en morado





### 3. FORMAS DE BUQUE BASE DE REFERENCIA

Estudiamos primeramente las formas y la disposición general del buque base conocido como Volstad Surveyor, y que, si bien es cierto, es de un tamaño superior a nuestro Mar Aurora, las formas y las características de la proa con bulbo, cuerpo cilíndrico y popa con propulsores azimutales, nos ayudan y nos dan una idea de como deben ser las formas de proa, cuerpo cilíndrico y popa de nuestro oceanográfico.

#### ST-253 ROV/SURVEY VESSEL Disposición General

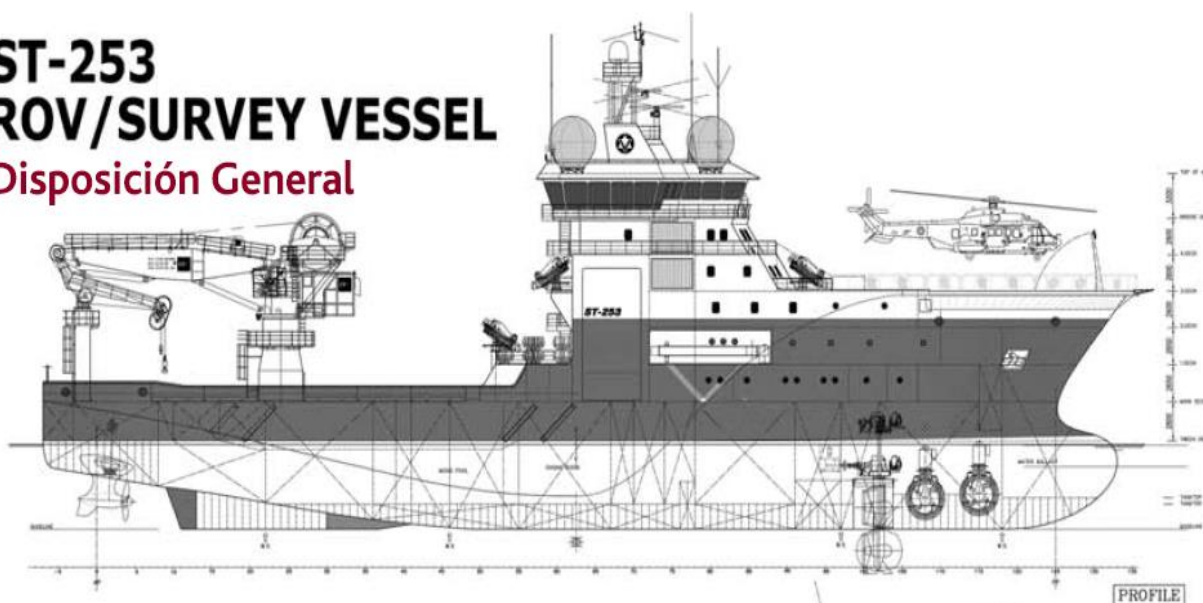


Ilustración 8: perfil buque base Volstad Surveyor

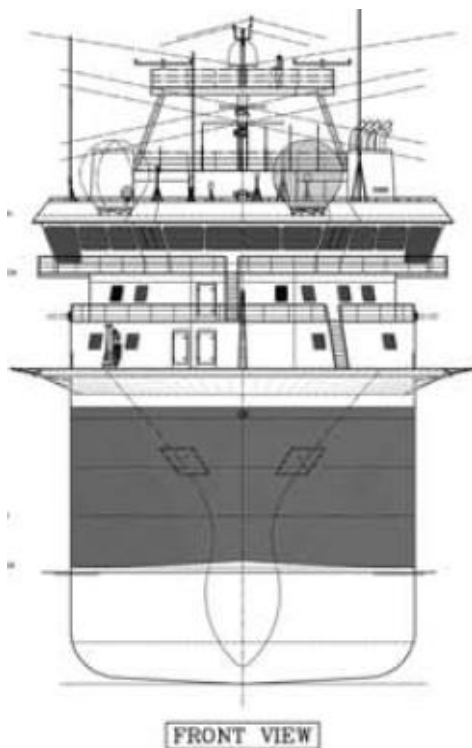


Ilustración 9: vista frontal Volstad Surveyor

### 3.1. Formas de proa buque base

Estudiamos y observamos primeramente el buque base arriba expuesto para darnos una idea de las formas que presenta y tomarlas como referencia para nuestro oceanográfico.

Fijándonos primero en las formas de proa, como podemos observar en las dos ilustraciones del Volstad Surveyor, el buque posee bulbo de tamaño medio, alto, y con una protuberancia que no sobresale el punto más a proa de la tercera cubierta donde se ubica el helipuerto.

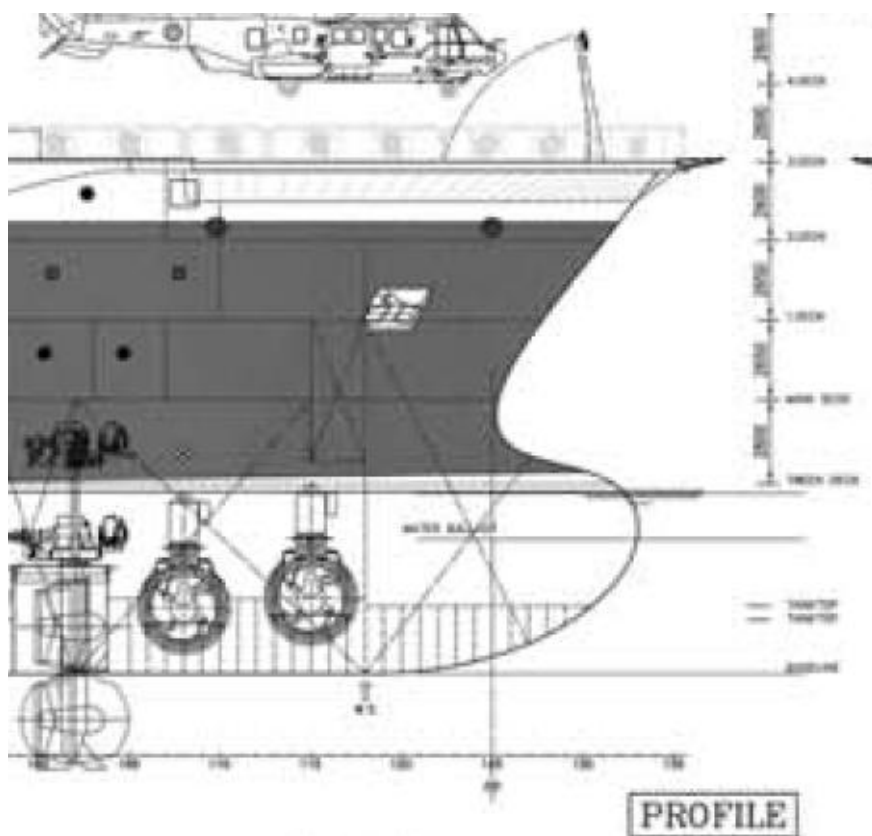


Ilustración 10: formas de proa

Observamos en la imagen una protuberancia del bulbo de entre 6 y 7 metros, con una altura del bulbo en torno de los 4,5 metros ya que el calado del Volstad Surveyor es de 6,8 metros.

También podemos observar que lleva a bordo dos hélices de proa transversales, que, según las especificaciones técnicas poseen 2300 mm de diámetro y 1150 kW de potencia cada una de ellas.



Ilustración 11: zona de amarre y fondeo

Por último, observamos la zona de amarre y fondeo del buque base, en la cubierta número dos, una cubierta inferior a la cubierta intemperie de la zona de proa donde se sitúa el helipuerto. Las medidas de esta zona sacada del plano del buque expuesto en el Anexo II, son de entre 10-11 metros de largo por unos 7-8 metros de ancho en la zona más a popa. En total el área de amarre y fondeo como se puede apreciar es triangular y sustituyendo los valores podemos llegar a la conclusión que posee aproximadamente unos 70-80 m<sup>2</sup>.

Además, también podemos apreciar la zona del ancla, entre la segunda y tercera cubierta, dándonos una idea de donde irá colocada y estibada el ancla de nuestro oceanográfico.

Resumiendo el contorno de proa del buque base, el Volstad Surveyor posee una proa afinada, esbelta, con un cuerpo de entrada marcado, y con bulbo relativamente alto, bastante marcado y protuberante para poder alcanzar velocidades relativamente altas ya que la velocidad crucero del mismo es de 16,5 nudos.

### 3.2. Formas del cuerpo cilíndrico del buque base

#### ST-253 ROV/SURVEY VESSEL Disposición General

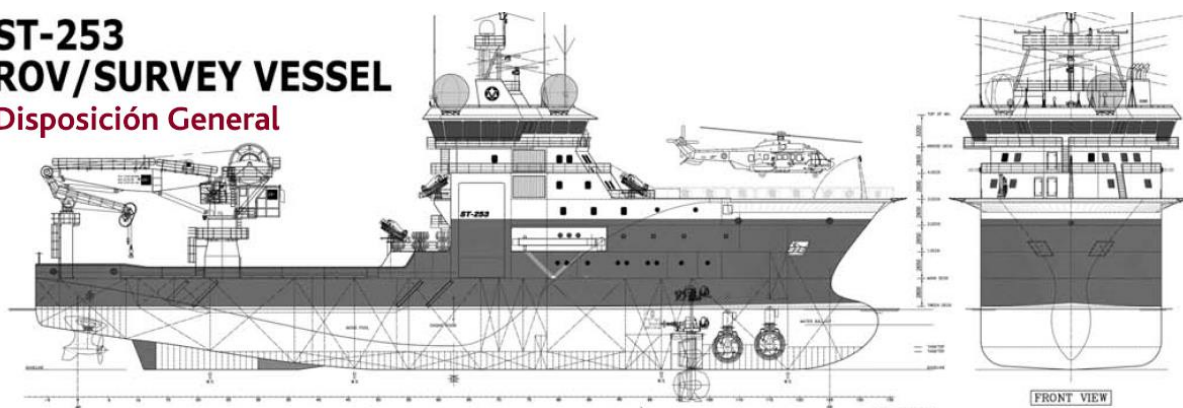


Ilustración 12: perfil y frontal Volstad Surveyor

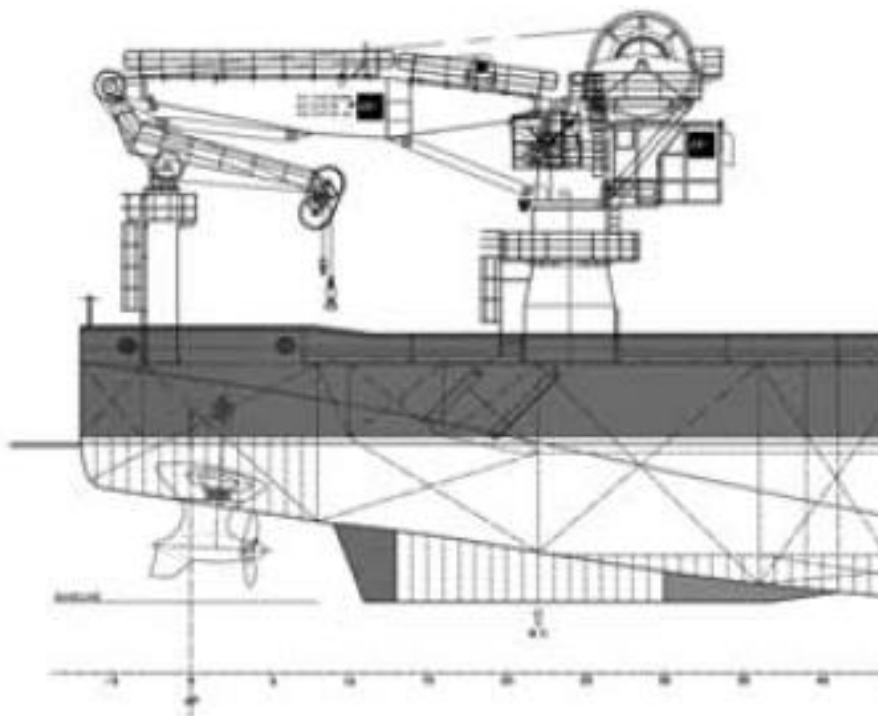
Como podemos observar en la imagen, el buque Volstad Surveyor poseerá un cuerpo cilíndrico marcado alrededor de la sección media del mismo.

Con costados planos que caen desde la cubierta principal hasta el pantoque, y con el fondo también plano desde crujía hasta el pantoque de nuevo. Posee además un pantoque marcado y reseñable con una clara forma de U alrededor de la sección medio del barco.

Con estas imágenes podemos hacernos una idea para hacer una aproximación a este buque base de nuestro oceanográfico.

### 3.3. Formas de popa del buque base

A continuación, detallamos y explicamos las formas de popa del buque base que estamos utilizando:



*Ilustración 13: formas de popa buque base Volstad Surveyor*

Como podemos observar en esta imagen, el Volstad Surveyor tiene un cuerpo de salida marcado desde los 40-45 metros a proa de la perpendicular de popa hasta 5 metros detrás de ésta que es donde acaba el buque.

Apreciamos también que lleva a bordo dos propulsores azimutales Rolls Royce AZP 100, parecidos a los que llevará a bordo el Mar Aurora, con una potencia de 2200 kW cada uno. Vemos que apenas hay separación entre las hélices del azipod y el casco, aunque esto debe ser un error gráfico ya que debe haber una separación mínima entre sí que normalmente ronda 1-1.5 metros.

También podemos ver que presenta un quillote para direccionar el flujo de agua a las hélices y optimizar la propulsión que dista de las palas de la hélice unos 4 metros a proa de ésta.

Por último, destacar el espejo de popa del Volstad Surveyor, sumergido aproximadamente unos 1,5 metros desde la superficie libre hasta el fondo del casco.

## 4. DESARROLLO DE LAS FORMAS

A partir del buque base de la biblioteca de Maxsurf expuesto anteriormente, transformamos paramétricamente el buque para obtener el buque que queremos.

Corrigiendo punto a punto de control para obtener las formas queridas y utilizando la 'Parametric Transformation' disponible en Maxsurf, obtenemos las formas del buque, que son:

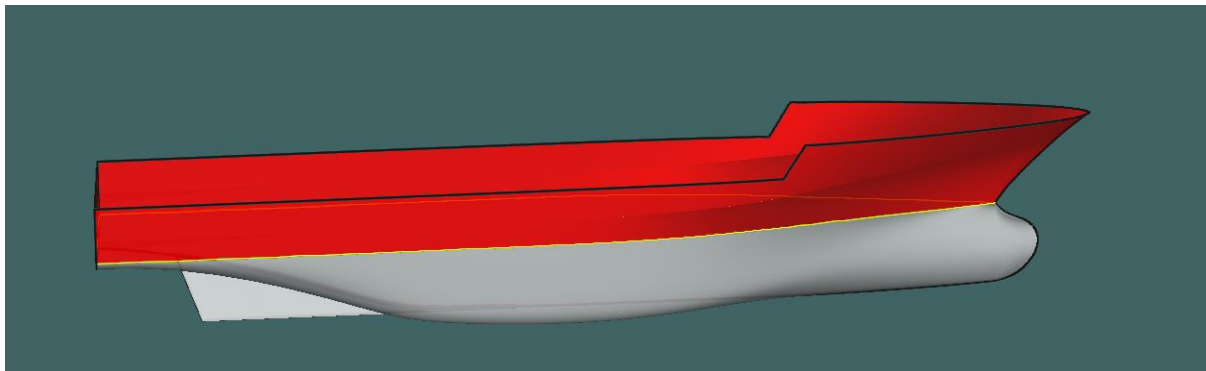


Ilustración 14: casco estanco Mar Aurora

Para desarrollar las formas del casco, primeramente, eliminamos las partes del Supply proporcionado por Maxsurf que no nos interesan tales como los tanques cilíndricos, las toberas de las hélices, y los agujeros del túnel de las hélices de proa.

Además, como sólo nos interesa el caso propiamente dicho, la zona estanca de éste, eliminamos también la superestructura que venía asociada al Offshore Supply Vessel de la biblioteca de Maxsurf.

Una vez eliminados estos elementos, procedemos a modificar el quillote para hacerlo de una longitud acorde a los Azipods que montará el buque. Además, variamos el bulbo punto de control a punto de control para que nos quede un bulbo de tamaño medio, sin ser excesivamente protuberante ni alto ya que la velocidad crucero del buque será de 12 nudos. Más adelante comprobaremos los parámetros de éste.

### 4.1. Perfil longitudinal

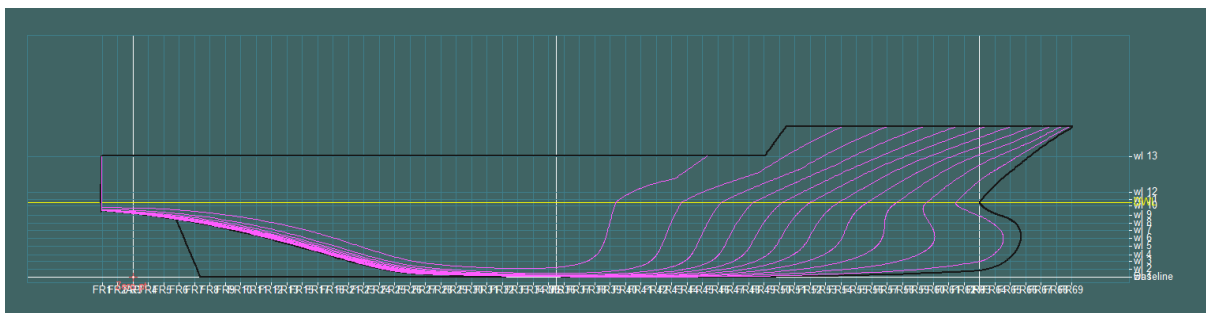


Ilustración 15: perfil longitudinal

En la imagen de arriba podemos comprobar el perfil longitudinal del buque con 10 longitudinales repartidos a lo largo de la manga cada 0,5 metros y que nos dan una idea de cómo son las formas del buque.

Podemos observar una proa afinada con un bulbo sin ser excesivamente protuberante, un cuerpo cilíndrico no muy extenso en torno a la sección media del buque y un cuerpo de salida

marcado con un quillote que se sitúa 4,5 metros aproximadamente a proa de la perpendicular de popa para no interferir con los azimutales que montará a bordo el barco.

Por último, observamos una popa en espejo que se sumerge uno 40-50 cm por debajo de la flotación manteniendo por encima de esa zona del casco suficiente altura para albergar el local de los azimutales con sus correspondientes equipos.

## 4.2. Líneas de agua

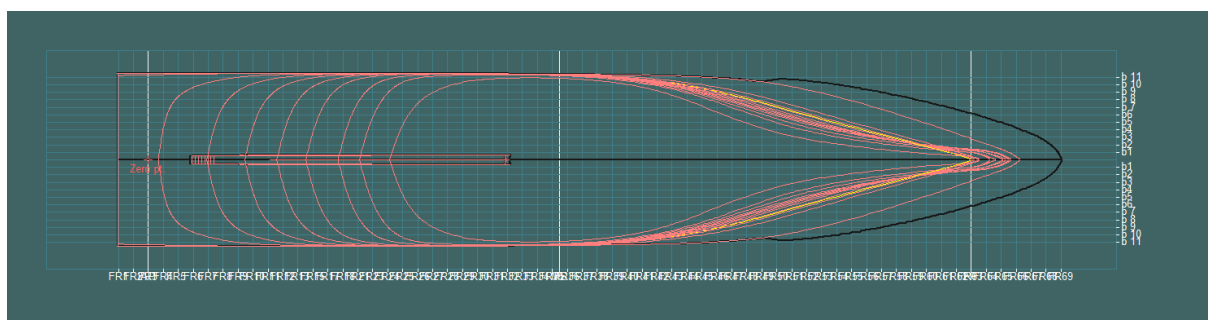


Ilustración 16: líneas de agua

Representamos en la ilustración de arriba las líneas de agua del buque, equiespaciadas cada 0,5 metros desde la línea base hasta los 5,5 metros, además de una línea de agua más a 7,8 metros de la línea base para mostrar la superficie del buque en la cubierta principal, para dar un total de 13 líneas de agua.

Del mismo modo que en el perfil longitudinal, observamos un buque esbelto, afinado, con claros cuerpos de entrada y salida marcados, y con un cuerpo cilíndrico breve en torno a la cuaderna maestra del buque.

Más tarde comprobaremos la zona de amarre y fondeo del buque que no choque el ancla en su bajada o izada con el casco de este, pero podemos anticipar que esto no va a suceder como podemos ver en la imagen.

## 4.3. Cuadernas y perfil transversal

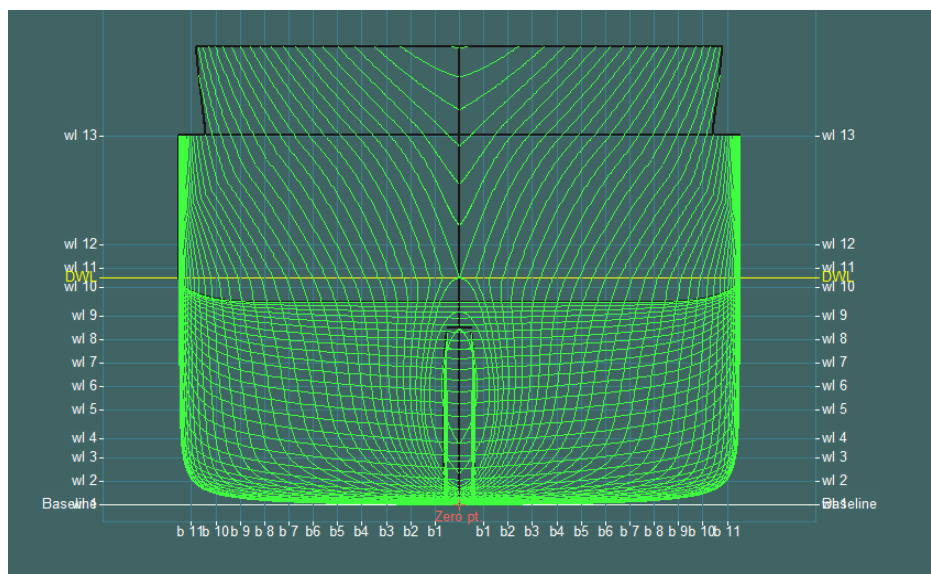


Ilustración 17: cuadernas y perfil transversal



Por último, mostramos el perfil transversal del buque y sus cuadernas. En total tendremos 64 secciones equiespaciadas 1 metro entre sí desde la popa en espejo hasta el punto más a proa del buque.

Siguiendo la línea del perfil longitudinal y las líneas de agua, podemos apreciar el bulbo visto frontalmente, de tamaño medio, elíptico, no muy alto, y que sigue a unas formas de proa finas y esbeltas.

También podemos observar un pantoque marcado en torno al centro del buque con un radio de pantoque que definiremos más adelante. Además, observamos unos costados planos que caen hasta el pantoque en torno a la sección media, y un fondo igualmente plano hasta el pantoque, de acuerdo a lo observado en el buque base de referencia Volstad Surveyor.

A continuación, en la página siguiente mostramos la tabla hidrostática que define al Mar Aurora.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1855	t
2	Volume (displace	1810,159	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	4,800	m
4	Immersed depth	4,813	m
5	WL Length	57,051	m
6	Beam max extent	11,500	m
7	Wetted Area	971,058	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	53,300	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	529,480	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (	0,595	
11	Block coeff. (Cb)	0,573	
12	Max Sect. area c	0,978	
13	Waterpl. area coe	0,807	
14	LCB length	26,052	from z
15	LCF length	21,536	from z
16	LCB %	45,664	from z
17	LCF %	37,749	from z
18	KB	2,756	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	2,793	m
21	BML	58,498	m
22	GMt corrected	5,549	m
23	GML	61,254	m
24	KMt	5,549	m
25	KML	61,254	m
26	Immersion (TPc)	5,427	tonne/
27	MTc	20,664	tonne.
28	RM at 1deg = GM	179,694	tonne.
29	Length:Beam rati	4,961	

Ilustración 18: parámetros hidrostáticos Mar Aurora



## 5. CONTORNO DE PROA

A continuación, detallamos la forma que tendrá el buque en proa.

El buque poseerá de bulbo en proa que explicaremos más adelante y justificaremos la elección de implantarlo, aunque alguno de los criterios que determinan la colocación o no del bulbo no se cumplan.

### 5.1. Bulbo de proa en buques

El bulbo de un buque es una protuberancia o engrosamiento de la proa en la roda que se extiende por delante de la perpendicular de proa y está situado en la parte baja de la roda.

Por lo general, hoy en día, el 95 % de los buques construidos llevan bulbo de proa. El empleo de éste puede ser muy favorable en gran número de buques, ya que reduce diferentes términos de la resistencia al avance de éstos como son:

- Resistencia por formación de olas ( $R_w$ ): ya que disminuye el tren de olas de proa generado por el buque a generar el bulbo su propia ola que contrarresta la generada por el buque.
- Resistencia residual de carácter viscoso ( $R_r$ ): ya que disminuye los torbellinos de proa y por consiguiente la resistencia de presión de origen viscoso.

Sin embargo, en todos los buques hay que tomar la decisión de implantarles el bulbo o no en base a una serie de criterios que detallaremos más adelante y en función del tipo de buque, la velocidad, los servicios previstos o el tiempo de navegación en lastre, a media o plena carga.

Además, debemos considerar que la implantación de un bulbo genera mayor superficie mojada y por lo tanto un aumento de la resistencia de fricción ( $R_{fpp}$ ).

#### 5.1.1. Efecto hidrodinámico del bulbo de proa

Dependiendo del tipo de buque el efecto hidrodinámico será distinto:

- **Buques rápidos (Número de Froude mayor de 0,25)**  
En este tipo de buques, el bulbo actúa generando su propio sistema de olas, desfasado del sistema de olas que genera el buque, atenuando y amortiguando el sistema de olas generado.  
Por lo tanto, en buques rápidos, el bulbo actúa disminuyendo la resistencia por formación de olas.
- **Buques lentos (Número de Froude menor de 0,25)**  
Los buques lentos no generan olas de gravedad debido al bajo número de Froude. Este tipo de buques, de formas llenas y lentos con altos coeficientes de bloques, generan una ola rompiente a proa de la proa roma que poseen, que forma parte de la resistencia viscosa.



Ilustración 19: ola rompiente

La implantación del bulbo en este tipo de buques se debe a que éste amortigua e incluso hace desaparecer la ola rompiente, con lo que disminuye la resistencia por formación de olas.

Al ponerlo, engrosan las zonas bajo la flotación, afinando las superiores, y produce que el flujo de agua que se acerca al buque cambie, al frenarse en zonas bajas enfrentadas al bulbo, y acelerarse en zonas altas. De esta manera, el perfil de velocidades queda más homogéneo sin que se produzcan desequilibrios de presiones, disminuyendo la resistencia viscosa y de presión de origen viscoso, disminuyendo e incluso haciendo desaparecer dicha ola rompiente.

#### 5.1.2. Tipos de bulbo según la forma de sus secciones

Según la forma de las secciones, los bulbos pueden ser:

➤ Bulbo elíptico.

Este tipo de bulbo es muy polivalente y será efectivo tanto en buques a plena carga como en lastre, y es apropiado para buques con formas llenas como con formas finas.

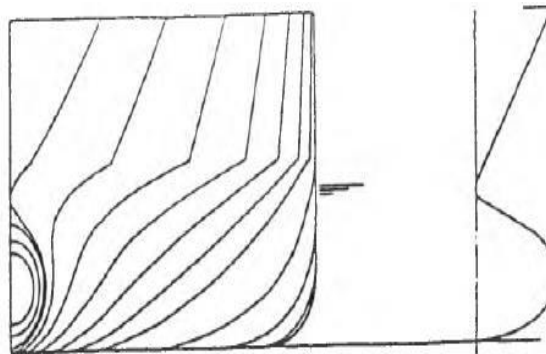


Ilustración 20: bulbo elíptico

➤ Bulbo de peonza.

El bulbo con sección de peonza es de los más empleados en el mundo naval ya que proporciona una disminución de la resistencia al avance considerable y un buen comportamiento en la mar para buques a plena carga o que no varíen demasiado el calado a lo largo de su vida.

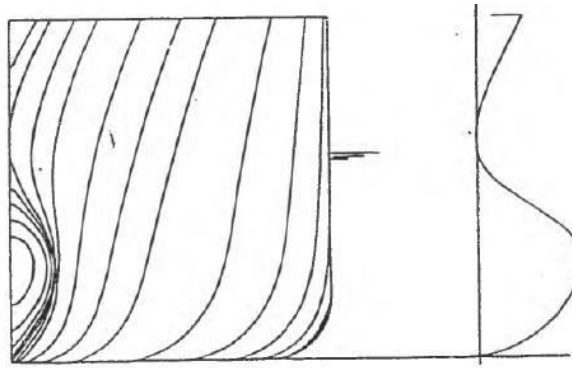


Ilustración 21: bulbo de peonza

➤ Bulbo de gota de agua.

En este bulbo, su centro de masas se encuentra en la parte inferior del mismo. Debido a su geometría, será muy efectivo en buques que naveguen con calados bajo en proa o en lastre.

Sin embargo, este tipo de bulbo, al poseer de una forma plana en su parte baja hace que exista un mayor riesgo de “slamming” si llega a emerger por efecto de la mar.

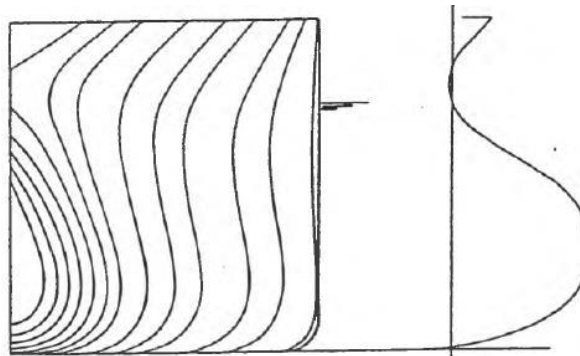


Ilustración 22: bulbo de gota de agua

5.1.3. Tipos de bulbo según la integración en la carena

Atendiendo a la integración del bulbo en la carena, pueden ser:

➤ Bulbo integrado.

Son los que se unen a la carena con suavidad y formas continuas.

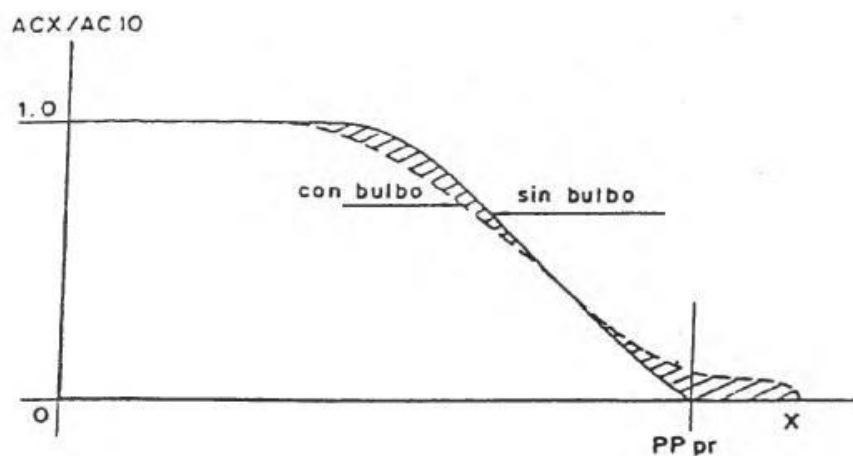


Ilustración 23: bulbo integrado

➤ Bulbo postizo.

Son aquellos que han sido añadidos a una carena previa sin bulbo, de forma que en la intersección del bulbo con la carena existe una línea de discontinuidad.

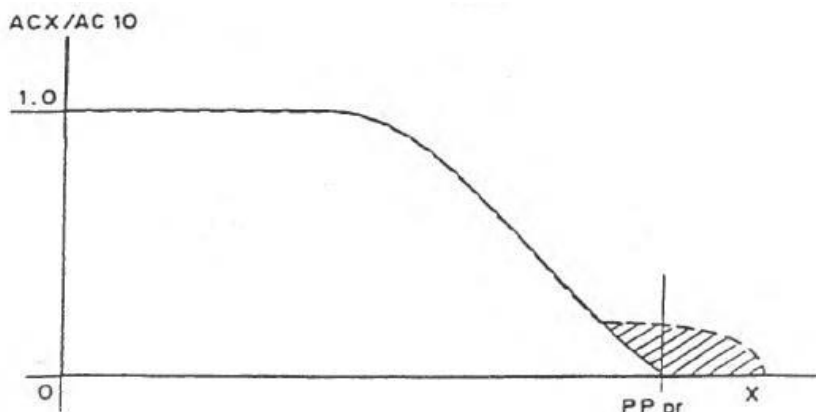


Ilustración 24: bulbo postizo

#### 5.1.4. Márgenes de aplicación

Siguiendo el libro de Don Fernando Junco: “*Proyectos de buque y artefactos: Proyecto de las formas de un buque*” está demostrado que en el diseño y aplicación del bulbo de proa en los buques interviene de manera decisiva tanto el coeficiente de bloque, CB, como la relación eslora/manga, Lpp/B.

En cuanto al Número de Froude, Fn, no existe un criterio concreto a seguir, apareciendo gran disparidad de opiniones, para determinar o no la aplicación del bulbo en los buques con respecto a este parámetro.

Además, según Carlier, el bulbo es aplicable a una gama muy amplia de valores de Fn. Se estima que son otros los factores que deben afectar la decisión de la adopción del bulbo, y que entre ellos debe ocupar un papel relevante el análisis comparativo y ponderoso de los diversos calados operativos del buque. Por ello, restringir el uso del bulbo a una gama cerrada de valores de Fn no parece razonable.

En general, para las relaciones actualmente utilizadas entre Fn y el coeficiente de afinamiento global del buque, que puede medirse bien por  $(C_b \cdot B/L)$ , el bulbo no suele ser recomendable si la relación anterior es superior a 0,135.

Resumiendo las medidas y criterios de los márgenes de aplicación del bulbo, y comparándolos con nuestro buque oceanográfico, tenemos:

Márgenes de aplicación		Buque	Cumple
CB	$0,65 < CB < 0,815$	0,61	FALSO
L/B	$5,5 < L/B < 7$	4,8	FALSO
Fn	$0,24 < Fn < 0,57$	0,27	VERDADERO
CB*B/L	$(CB \cdot B/L) < 0,135$	0,127	VERDADERO

Ilustración 25: comparativa márgenes de bulbo-buque

Como podemos observar, no se cumplen todos los criterios requeridos para la aplicación del bulbo de proa en nuestro buque. Sin embargo, se va a optar por incluirlo y aplicarle el bulbo

de proa al oceanográfico Mar Aurora ya que la mayoría de los buques de la base de datos incluido el Volstad Surveyor como buque base, poseen bulbo.

### 5.1.5. Parámetros geométricos que caracterizan el bulbo

#### ➤ Altura del bulbo (h)

Es la ordenada sobre la línea base del punto de protuberancia máxima. Básicamente es la distancia del punto más alejado de la nariz del bulbo a proa con respecto a la línea base.

Para una inmensa mayoría de los buques, 'h' oscila entre el 35% y 55% del calado máximo en proa.

Tomamos un 50 % como valor:

$$h = 0,5 \times T_{pr}$$

Siendo 'T<sub>pr</sub>' el calado máximo a proa igual a 4,8 m:

$$h = 2,4 \text{ m}$$

#### ➤ Protuberancia (X)

La protuberancia del bulbo se puede definir como la distancia de la nariz del bulbo más a proa, a la perpendicular de proa.

Es menos crítico que la altura: admite variaciones de mayor entidad sin grave deterioro de la calidad de las formas.

Se debe tener en cuenta que el efecto de la protuberancia en el desfase existente entre los sistemas de olas del bulbo y la carena solo debe considerarse como muy importante si el buque es rápido ( $F_n > 0,30$ ).

A partir de expresiones empíricas, y para bulbos normales y altos:

$$X = \left( 0,2642 \times CB \times \frac{B}{L_{pp}} + 0,0046 \right) \times L$$

Sustituyendo valores:

$$X = 2,37 \text{ m}$$

#### ➤ Área transversal (S<sub>b</sub>)

Se considera el área transversal del bulbo como el área transversal de la protuberancia por debajo de la flotación.

Se obtiene a partir del gráfico 8.3.8 del libro anteriormente mencionado de Fernando Junco: "Proyectos de buque y artefactos: Proyecto de las formas de un buque", mediante la relación eslora-manga,  $L_{pp}/B$ , y el coeficiente de bloque, CB:

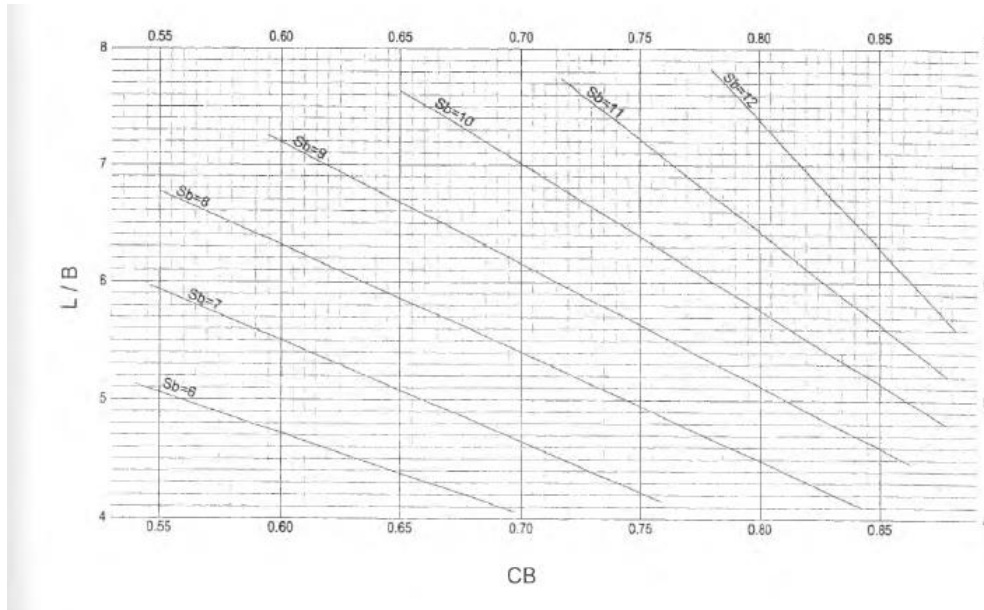


Ilustración 26: gráfico Lpp/B frente a CB para calcular Sb

Para una relación Lpp/B de 4,8 y un CB de 0,60:

$$Sb = 6, 20\% \text{ de SM}$$

## 5.2. Proa y bulbo de proa diseñado

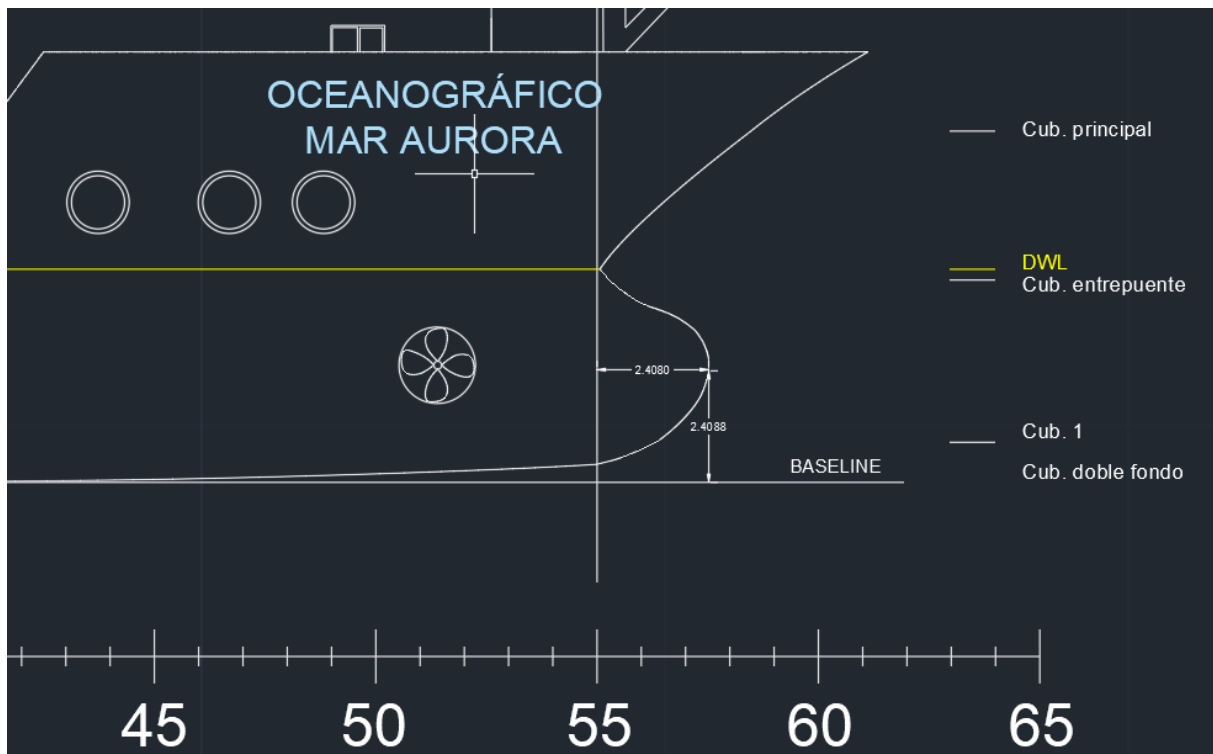


Ilustración 27: perfil y bulbo de proa conseguido

En la imagen superior mostramos el perfil y el bulbo de proa conseguidos.

Como podemos ver es una proa lanzada con un bulbo marcado y de tamaño medio sin ser excesivamente protuberante ya que tampoco se requiere en exceso al ser la velocidad crucero del buque de 12 nudos, inferior a la del buque base Volstad Surveyor de 16,5 nudos que le hacía poseer un bulbo más pronunciado y protuberante, con una mayor esbeltez para alcanzar esa velocidad sin que se resintiera demasiado la resistencia al avance.

	Medidas empíricas bulbo	Bulbo conseguido
<b>Altura (m)</b>	2,40	2,41
<b>Protuberancia (m)</b>	2,37	2,41

Ilustración 28: comparación medidas del bulbo

Además, comparando las medidas obtenidas empíricamente a través de las fórmulas de proyectos del buque, con las obtenidas después del diseño de formas, vemos que prácticamente coinciden y harán que el bulbo funcione correctamente.

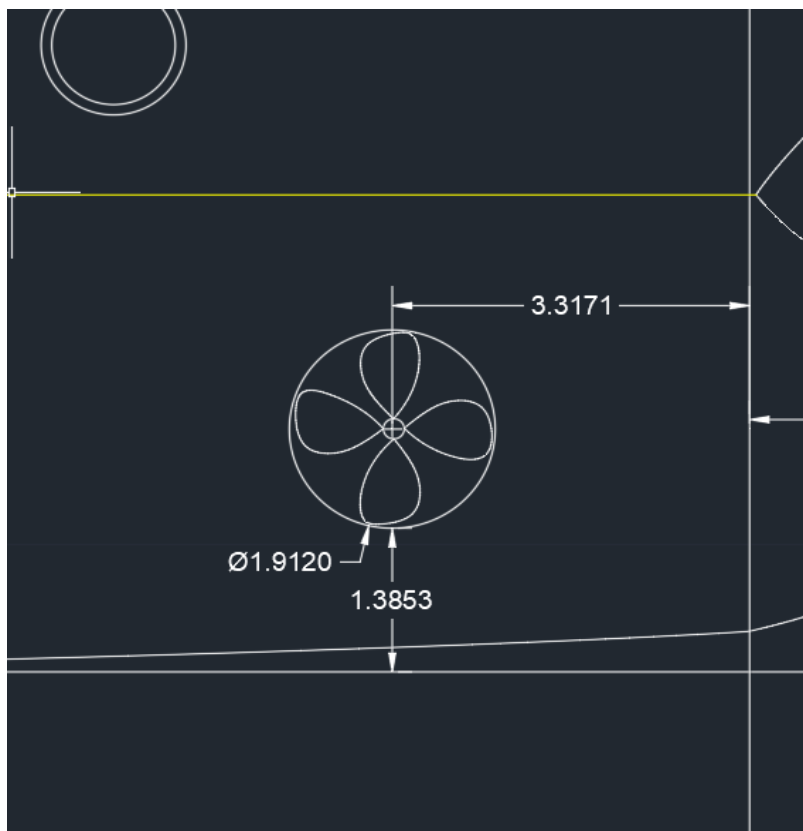


Ilustración 29: posición y tamaño de hélice de proa

Observamos por último la posición de la hélice de proa, a 1,4 metros sobre la línea base ya que debajo de esta estará el doble fondo, y a 3,30 metros de la perpendicular de proa asemejándose a la posición de las hélices de proa del buque base Volstad Surveyor.

Además, también podemos apreciar su tamaño, que, con un diámetro en una primera aproximación de 1,9 metros, se equipara al tamaño de las hélices de proa del Volstad Surveyor de 2,3 metros, aunque evidentemente al ser el Mar Aurora de un tamaño inferior al Volstad Surveyor, el tamaño de la hélice de proa será inferior.



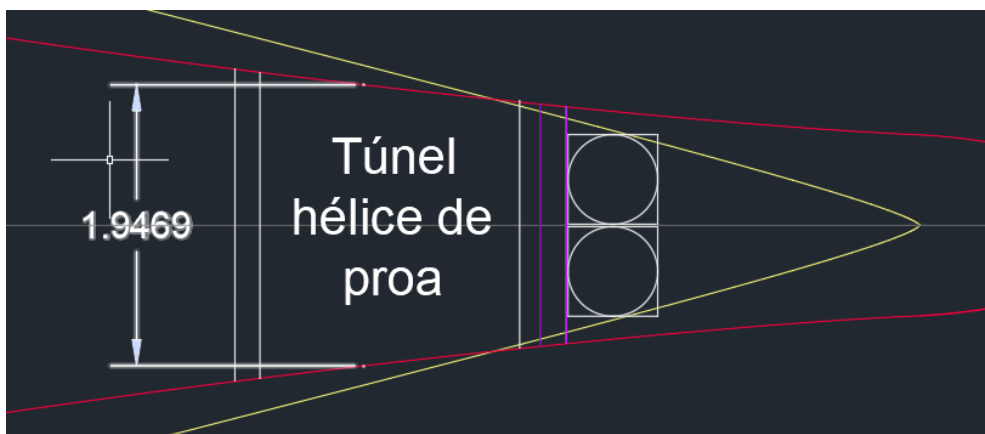


Ilustración 30: manga hélice de proa

Por último, observamos el tamaño de la manga en la zona donde se va a situar la hélice de proa y que irá desde los 1,95 metros hasta los 2,1 metros más arriba del techo del doble fondo que es desde donde está tomada la medida.

### 5.3. Zona de amarre y fondeo

Comprobamos la zona de amarre y fondeo para determinar el área disponible para el amarre y que estará a proa de la superestructura, justo debajo de la plataforma del helipuerto.

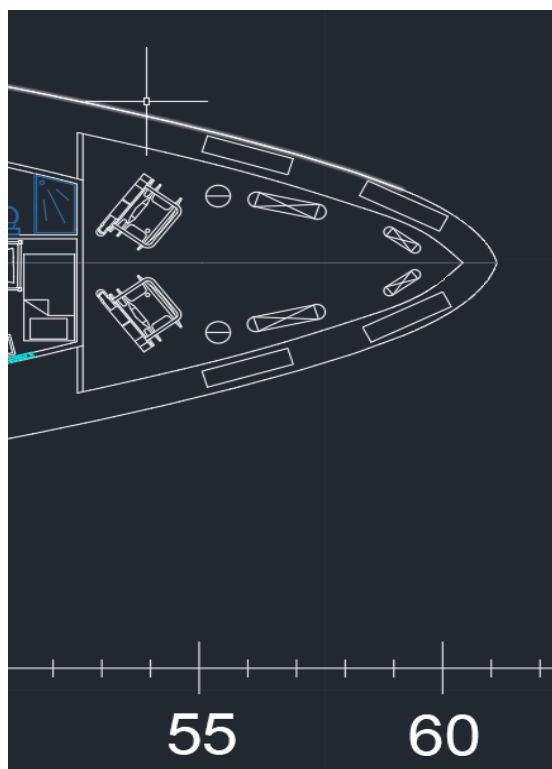


Ilustración 31: zona de amarre y fondeo en cubierta de amarre bajo el helipuerto

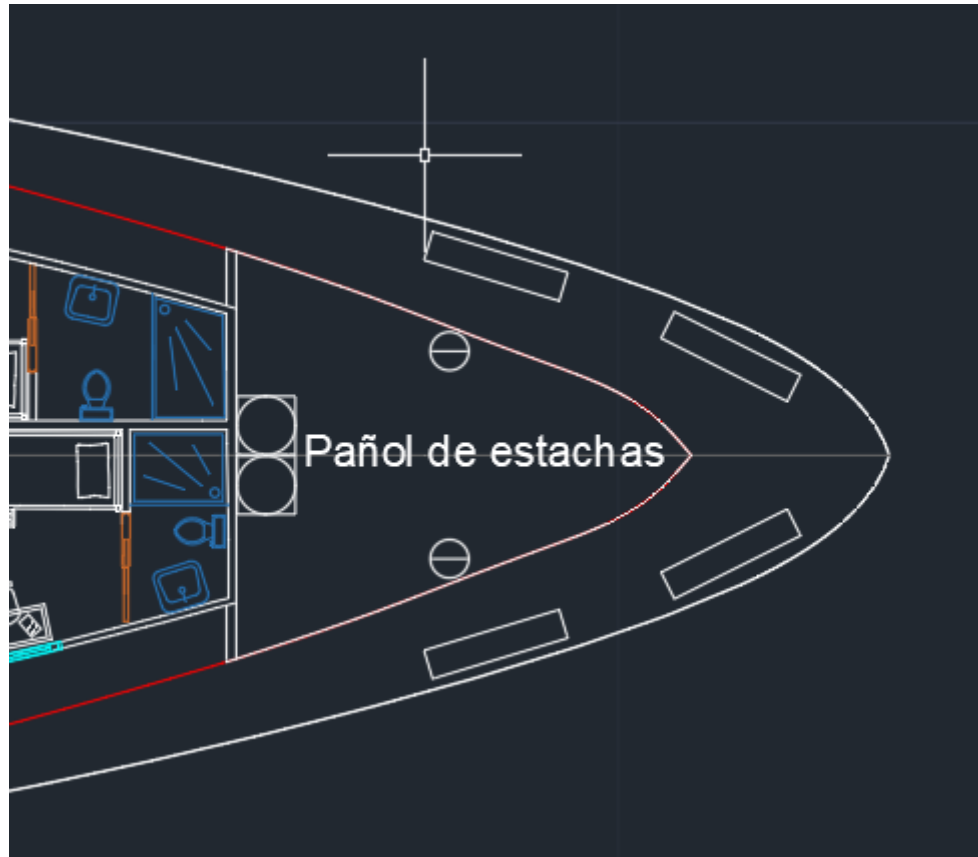
Como podemos ver, el castillo posee agujeros para el paso de los cabos a las bitas para su correcto amarre a puerto.

Esta cubierta de amarre está situada 1,5 metros por encima de la cubierta principal y a la que se accede por el costado del barco subiendo unas escaleras desde dicha cubierta. La altura



de la amurada es de 0,5 metros. También podemos apreciar en la imagen los molinillos que llevan las cadenas del ancla.

El área de amarre que posee el Volstad Surveyor está en torno a los 65-70 m<sup>2</sup>, más grande y con una capacidad de amarre que debe ser mayor a nuestro oceanográfico. El área del Mar Aurora ronda los 32 m<sup>2</sup> a proa justo debajo de la cubierta del helipuerto como se puede apreciar en la imagen.



*Ilustración 32: pañol de estachas en la cubierta principal bajo la cubierta de amarre*

Por último, como podemos ver en la imagen, en la cubierta principal y bajo la cubierta de amarre encontramos un pañol de estachas para la estiba de los cabos y las estachas correspondientes al amarre.

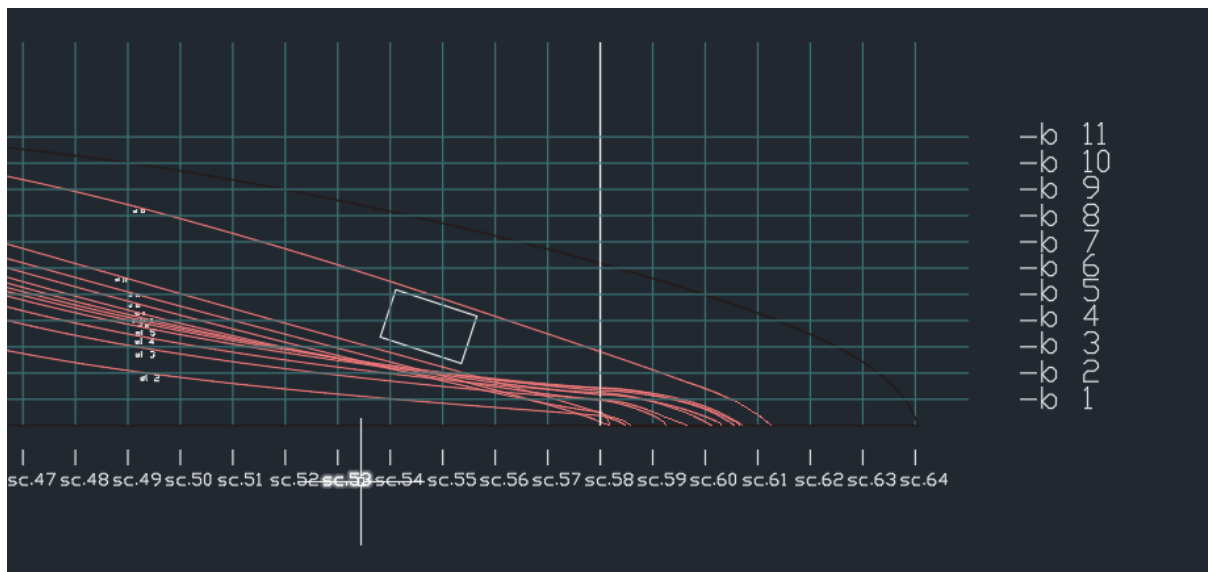


Ilustración 33: líneas de agua, comprobación formas y ancla

Debido a que el ancla se situará entre la línea de agua 13, correspondiente a la cubierta principal, y la línea de agua 10, correspondiente a la cubierta de entrepuente y a 4,6 metros de la línea base, podemos comprobar que la bajada y el izado del ancla no interferirá con el casco ni golpeará con éste.

En la imagen podemos observar el rectángulo donde irá estibada el ancla y como no interfiere con ninguna línea de agua, por lo que no choca ni roza con el casco.

#### 5.4. Altura mínima en proa

Calculamos asimismo la altura mínima en proa hasta la cubierta de amarre.

Altura mínima de proa de acuerdo a ILLC

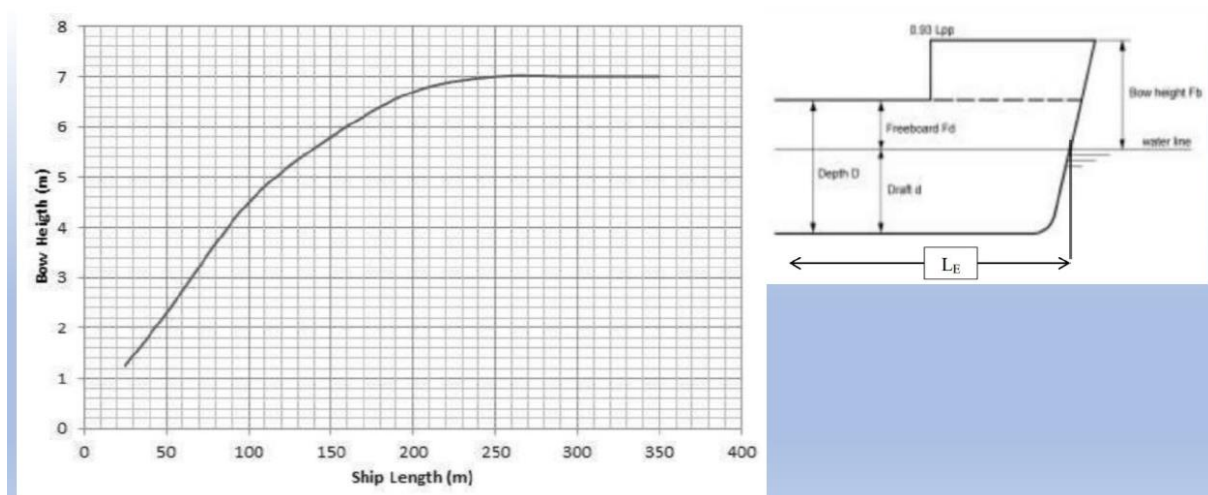
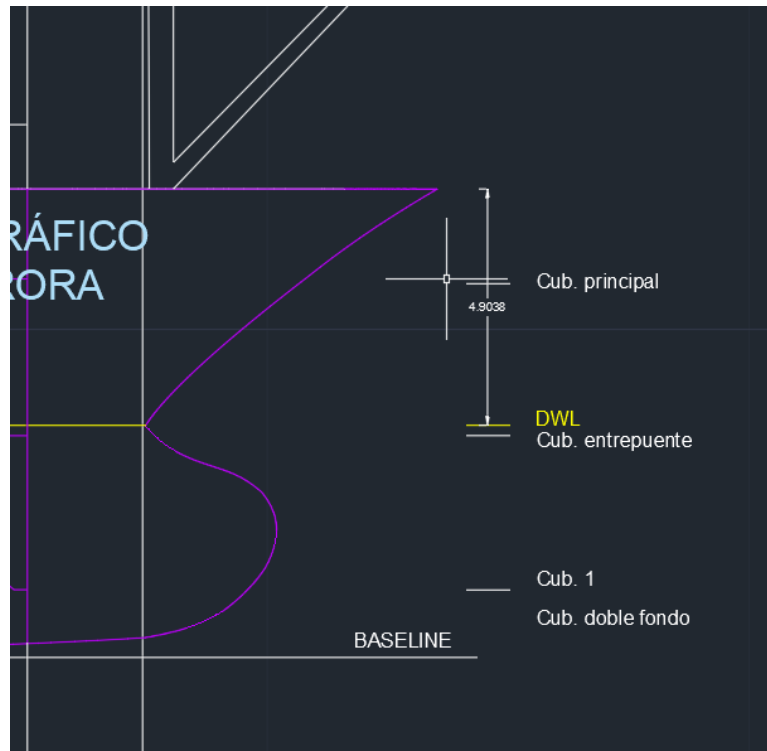


Ilustración 34: gráfica para el cálculo de la altura mínima en proa

Como podemos ver en el gráfico y para una eslora de 55 metros corresponde una altura mínima en proa de 2,5 metros hasta la cubierta de amarre.



*Ilustración 35: altura en proa*

Como podemos observar en la imagen, la altura mínima en proa se cumple, ya que desde la flotación hasta la amurada hay 4,9 metros, y hasta la cubierta de amarre, 4,4 metros (0,5 metros menos).

### 5.5. Semiángulo de entrada

Procedemos ahora al cálculo del semiángulo de entrada de las líneas de agua de nuestro buque.

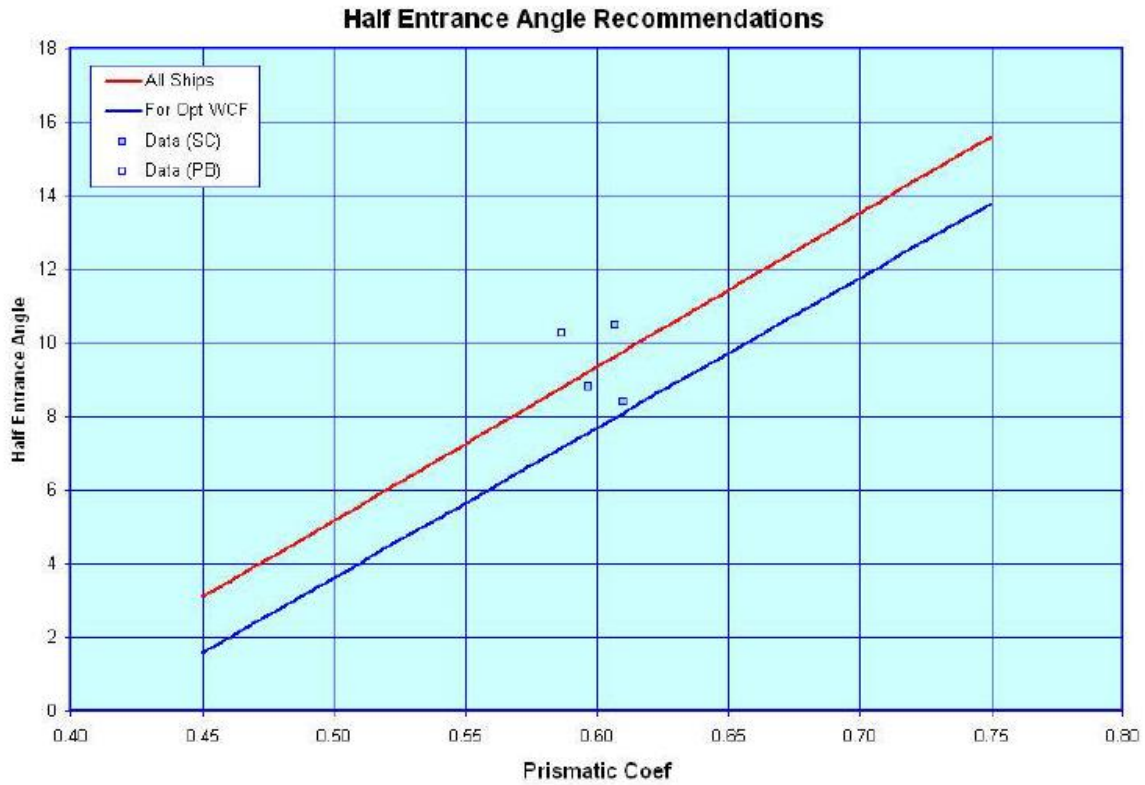


Ilustración 36: gráfica semiángulo de entrada

Introduciendo el valor del coeficiente prismático igual a 0,595, obtenemos un semiángulo entre 7,6 ° y 9,2°.

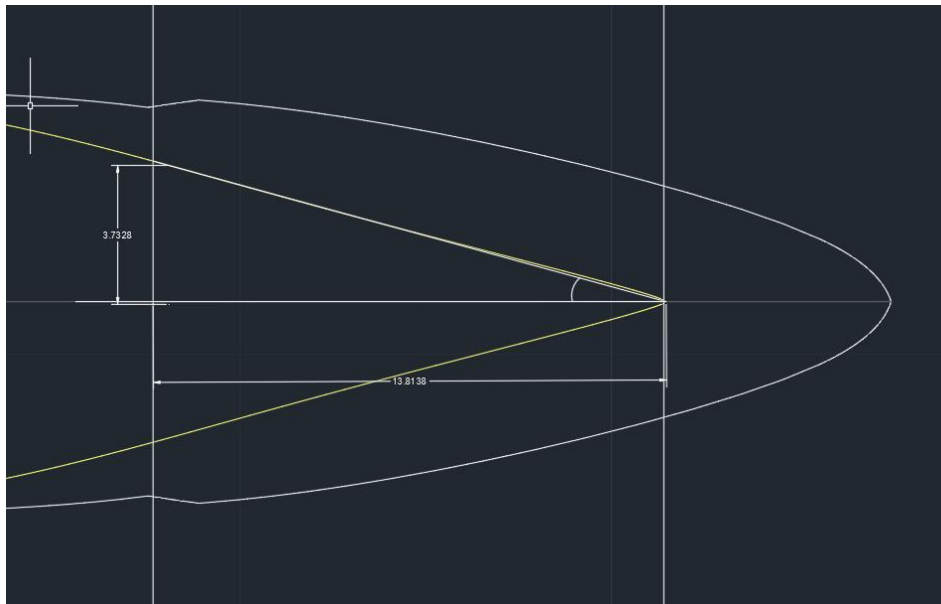


Ilustración 37: imagen para calcular el semiángulo de entrada

Calculamos el semiángulo de entrada como muestra en la imagen:

$$\tan(\theta) = 3,73/13,8$$

Por lo que el semiángulo  $\theta$ , tiene un valor de:

$$\theta = 15,12^\circ$$

Esto es un semiángulo ligeramente superior a los estimados por la gráfica, pero resulta complicado bajar de ese valor ya que, si no, no habría suficiente superficie en la cubierta principal y en general a bordo de todo el buque para albergar los requisitos de la RPA en cuanto a superficie de laboratorios, superficie libre en cubierta y cubiertas de habilitación.

## 6. CUERPO CILÍNDRICO

### 6.1. Curva de áreas seccionales

Representamos en la página siguiente la curva de áreas seccionales.

En ella podemos diferenciar tres partes:

➤ Cuerpo de entrada

Un cuerpo de entrada correspondiente con la proa del buque largo, con una protuberancia marcada denominada bulbo que sobresale de la perpendicular de proa. El cuerpo de entrada es amplio, por lo que da a entender que es un buque con formas finas y esbeltas para una menor resistencia al avance. Éste se extiende desde los 2,4 metros a proa de la perpendicular de proa, coincidiendo con el punto más a proa del bulbo como hemos comprobado anteriormente, hasta aproximadamente los 25-30 metros a proa de la perpendicular de popa, donde comienza la transición hacia el cuerpo de salida, dando lugar a un cuerpo de entrada de unos 25-30 metros.

➤ Cuerpo cilíndrico

El buque no posee de un cuerpo cilíndrico central en el que la manga sea constante claramente a lo largo de la eslora, por lo que el cuerpo cilíndrico del buque es 0.

➤ Cuerpo de salida

Por último, desde 2 metros a popa de la perpendicular de popa donde se sitúa la popa de espejo y que ésta se sumerge 0,5 metros desde la superficie libre hasta el fondo del casco donde se sitúan los azimutales, hasta los 20-25 metros a proa de la perpendicular de popa, nos encontramos el cuerpo de salida.

Por lo tanto, la longitud del cuerpo de salida es de unos 22-27 metros.

Se puede apreciar en la curva de áreas el efecto del quillote, ya que se puede ver un escalón que termina a los 4-4,5 metros a proa de la perpendicular de popa para no interferir con los propulsores azimutales, y que es el área del propio quillote.

Esto coincide con el buque base de referencia Volstad Surveyor que también posee un cuerpo de entrada muy marcado, esbelto y fino, con bulbo más protuberante que el del Mar Aurora, y un cuerpo cilíndrico menor en torno a la sección media del buque. El Volstad también posee un cuerpo de salida claramente marcado y largo de unos 40 metros y que nos viene a dar la importancia de un correcto diseño de las formas. Además, también posee de un quillote que direcciona el flujo a las hélices sin interferir con éstas.



For Academic Use Only

## 6.2. Radio del pantoque y astilla muerta

Procedemos al cálculo del radio del pantoque y de la astilla muerta.

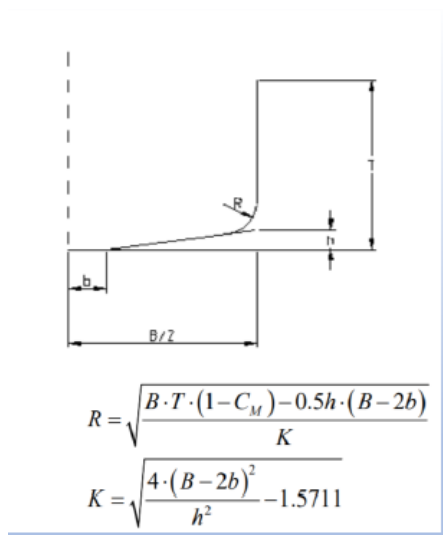


Ilustración 38: gráfica para el cálculo del radio del pantoque

Primeramente, destacar que el valor medido por hidrostáticas del área de la sección media o área de la maestra es de 0,978 y coincide exactamente con el área de la cuaderna maestra obtenido en el cuaderno 1.

Hallamos ahora el radio del pantoque de las formas del buque obtenidas:

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot T \cdot (1 - C_M) - 0,5 \cdot h \cdot (B - 2b)}{K}}$$

Siendo K:

$$K = \sqrt{\frac{4 \cdot (B - 2b)^2}{h^2} - 1,5711}$$

Sustituyendo el valor de la manga B, igual a 11,5 metros, el valor de 'b', igual a 0,66 metros y 'h' igual a 0,2 metros:

$$K = 101,8$$

Por último, para un calado de 4,8 metros, y un  $C_M$  de 0,97, hallamos el valor del radio del pantoque R:

$$R = 0,08 \text{ metros}$$



### 6.3. Altura del doble fondo y situación de la CCMM

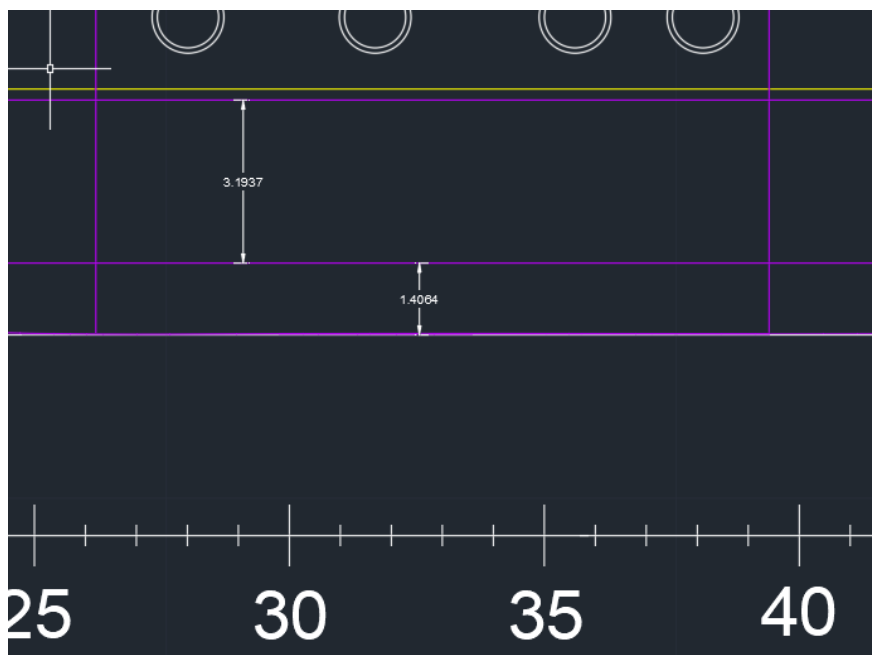


Ilustración 39: altura del doble fondo, altura de la cámara de máquinas y situación de esta

Como podemos observar en la imagen, el doble fondo tendrá una altura de 1,4 metros desde la línea base hasta el techo del doble fondo. Escojo ese tamaño y no otro más pequeño para que se pueda acceder a él de una manera más o menos cómoda para su revisión o limpieza.

También podemos ver la altura de la cámara de máquinas donde irán los motores diésel generadores, entre los 25 y los 40 metros aproximadamente a proa de la perpendicular de popa. Las líneas en morado representan los mamparos estancos en los que está dividido el buque.

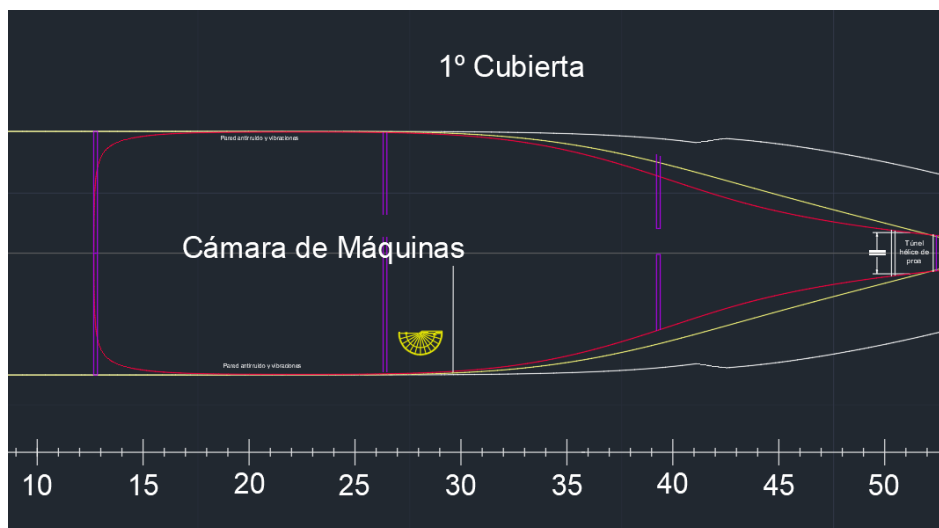


Ilustración 40: Cámara de Máquinas vista en planta

Asimismo, podemos apreciar en la imagen superior la situación de la cámara de máquinas vista en planta a lo largo de la eslora del buque, y que se sitúa en torno a la sección media del mismo.

Más a proa y más a popa de la imagen mostrada y en esa misma cubierta, el techo del doble fondo, estarán las cámaras de bombas, la planta de tratamiento de aguas residuales, la planta

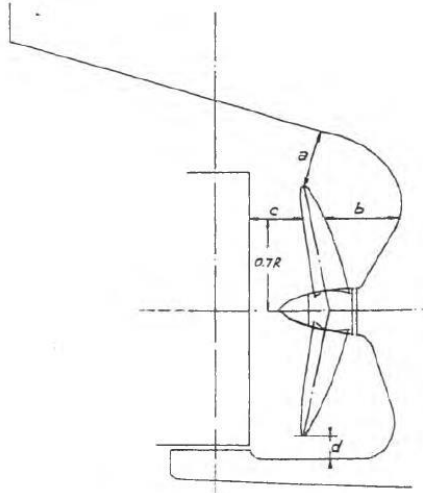
de ósmosis inversa para desalinizar el agua, así como otros componentes de la cámara de máquinas.

Por último, hay que destacar que la altura de cada una de las cubiertas del barco, salvo la del doble fondo que tendrá 1,4 metros como hemos dicho anteriormente, será de 3,2 metros, tanto la de entrepuente como a principal y la habitación.

## 7. CONTORNO DE POPA

A continuación, procedemos al cálculo del contorno de popa del buque. Éste consiste en el cálculo de las claras de la hélice que tendrá el propulsor en el codaste.

Nuestro buque en cuestión llevará dos propulsores azimutales, por lo que el buque no dispondrá de timón ya que para este tipo de propulsión no es necesario.



*Ilustración 41: timón más propulsor*

La distancia que calculamos, por lo tanto, es la distancia 'a', ya que es la única relevante que debemos calcular al llevar este tipo de propulsión, es decir, la distancia que hay entre las palas de la hélice y el casco.

Esta distancia normalmente viene dada por el fabricante, y cogiendo el catálogo de azimutales de ABB podemos comprobar la distancia que normalmente dicho fabricante suele manejar entre las palas del azimutal y el casco:

## Dimensions and weights

The following preliminary dimensions are to be used in the early stages of a ship project study. These dimensions must be checked during the technical drafting process with regard to the applied ship fit:

- The obtainable vertical measure (“C”) for the Propulsion Module is project specific, and subject to the hydrodynamic forces and ice loads calculated. ABB uses some standard heights “C” as the starting point of the project.
- The Azipod Steering Module height (“E”) can be altered under special consideration and/or in ABB given limit values in dimensioning drawings.
- The final Cooling Air Unit detail selection may slightly alter the related dimensions. (“J”, “K” and “L”). Azipod ICE has no air cooling unit.

NOTE: Please contact ABB Marine & Ports and submit an inquiry for equipment and Azipod propulsion unit selection and dimensioning. Available propulsion units correct frame size selection data and main dimensions drawings can be found on the ABB Marine & Ports web site. Please visit the web site for more detailed information.

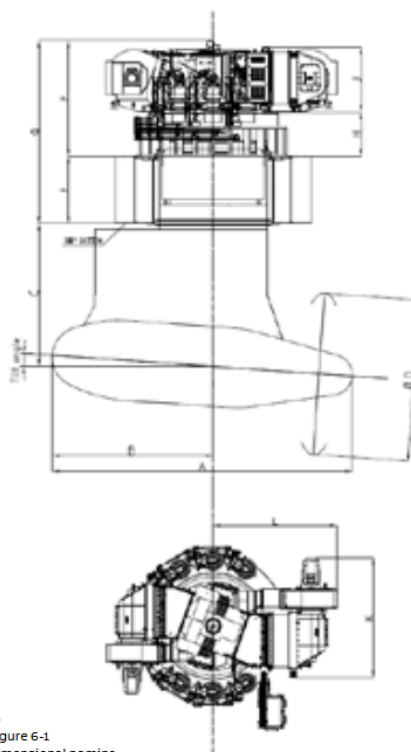


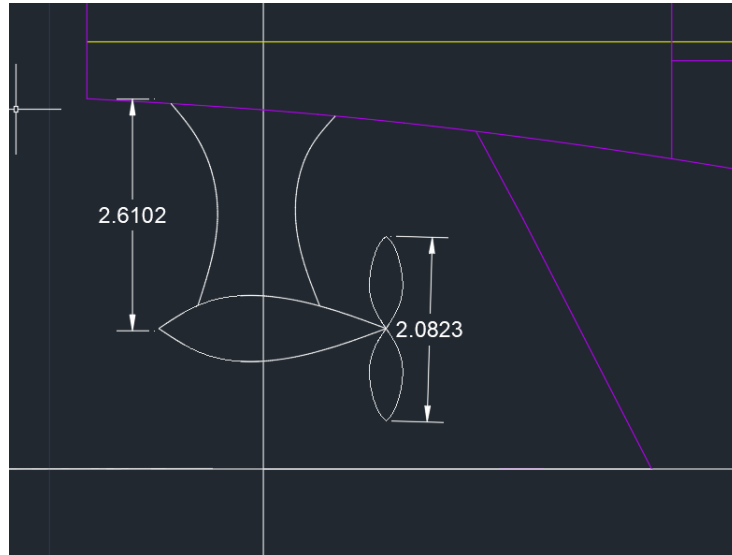
Figure 6-1  
Dimensional nominations for the Azipod propulsion system

	Azipod ICE	Azipod VI1600	Azipod VI2300
A [m]	5.2–6.2	8.5	10.6–11
B [m]	2.4–3.0	4.5	5.5–6
C [m]	2.8–2.9	3–3.2	4.2–5.3
ØD [m]	2.5–3.5	4–4.25	5.6–6
E [m]	0.7–1	1.3–1.9	1.5–3
F [m]	2	2.9	4
G [m]	2.7–3	4.7–5.3	5.5–7
H [m]	N / A	0.3–1.5	1.7
J [m]	N / A	2.25	2.5
K [m]	N / A	2.75	4.4
L [m]	N / A	6	4.5
Tilt [deg]	0	4	4

Ilustración 42: especificaciones de medidas de Azipods ABB

Teniendo en cuenta el dibujo de la imagen y las medidas aportadas por ABB para ese tipo de propulsor, y que no poseen más información en cuanto a la distancia que separa las palas de la hélice del casco por ser productos muy específicos para cada de tipo de buque, podemos estudiar y ver cuál debe ser la distancia mínima que debe haber entre las palas y el casco. Hélice inferior, C de 2,6 m y una hélice de unos 2 m aproximadamente.

Nuestra hélice tendrá un diámetro inferior de la de arriba expuesta y rondará los 2 metros, por lo que la distancia 'C' que deberá haber entre el núcleo del azimutal y el casco deberá rondar los 2,6 metros con 0,5 metros de margen de seguridad que dispondremos entre la línea base (que nunca debe sobrepasar la hélice) y el casco.



*Ilustración 43: medidas azimutal*

## 8. COMPROBACIÓN DE COEFICIENTES

Por último, comprobamos que los coeficientes obtenidos una vez realizadas y estudiadas las formas, coinciden con los obtenidos en el cuaderno 1:

	Objetivos del Cuaderno 1	Formas obtenidas
<b>Desplazamiento (ton)</b>	1854	1855
<b>CB</b>	0,60	0,57
<b>CP</b>	0,62	0,59
<b>CM</b>	0,97	0,97

*Ilustración 44: tabla comparativa objetivos Cuaderno 1 y formas obtenidas*

Como podemos observar, los valores obtenidos en el Cuaderno 1, y que nos debemos marcar como objetivos a conseguir en este Cuaderno 3 coinciden, salvo unas diferencias mínimas en el coeficiente de bloque (CB) y el coeficiente prismático (CP).

## 9. PLANO DE FORMAS

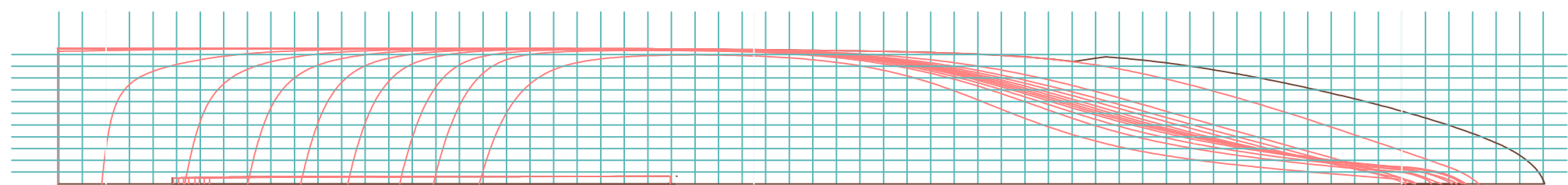
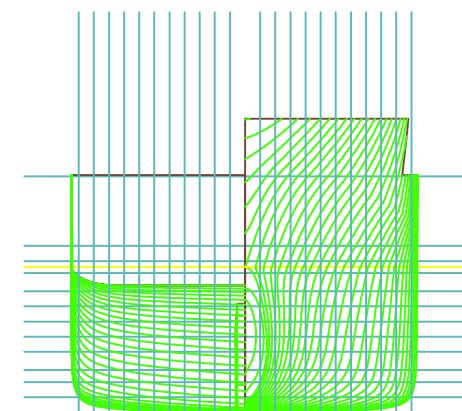
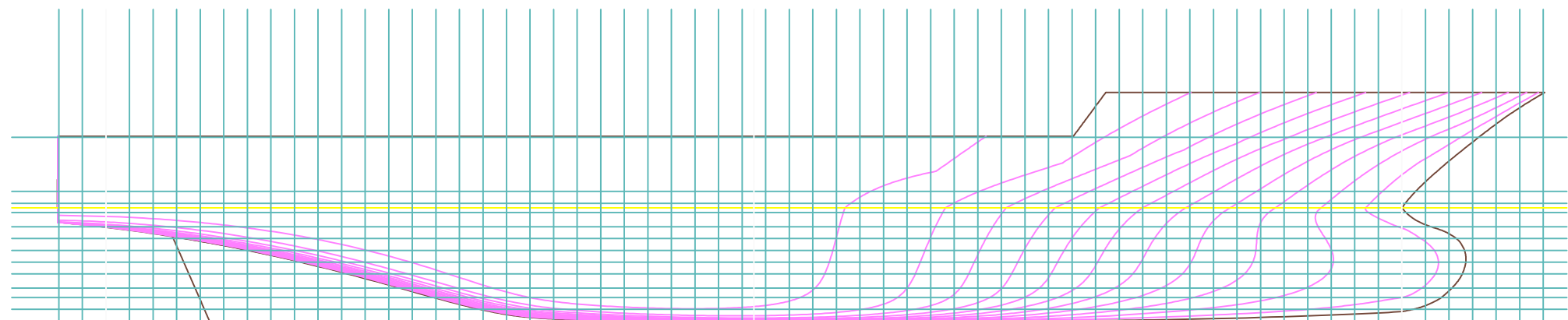
A continuación, en el Anexo I, presentamos el plano de formas del buque oceanográfico.

Las distancias que separan los longitudinales, las líneas de agua y las secciones transversales son:

- Longitudinales  
Cada 0,5 metros a babor y estribor de crujía hasta los 5,5 metros para un total de 11 longitudinales.
- Líneas de agua  
La separación de cada línea de agua es:  
wl 1: baseline  
wl 2: 0,5 metros de la línea base  
wl 3: 1 metros de la línea base  
wl 4: 1,4 metros de la línea base  
wl 5: 2 metros de la línea base  
wl 6: 2,5 metros de la línea base  
wl 7: 3 metros de la línea base  
wl 8: 3,5 metros de la línea base  
wl 9: 4 metros de la línea base  
wl 10: 4,6 metros de la línea base  
wl 11: 5 metros de la línea base  
wl 12: 5,5 metros de la línea base  
wl 13: 7,8 metros de la línea base
- Secciones transversales  
Cada metro de distancia desde la popa en estampa hasta el punto más a proa del buque para un total de 64 secciones.

ANEXO I  
PLANO DE FORMAS





TFG BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m

MAR AURORA

PLANO:

PLANO DE FORMAS

FECHA: Julio 2022

NOMBRE:

DAVID MARTÍN ARGIBAY

TAMAÑO: A3

ESCALA: 1/250

ESCALA GRÁFICA:

ESCALA 1 : 250

